

Adaptation des systèmes de production soudano sahéliens à la sécheresse et conséquence pour la sélection variétale : le cas des sorghos du Mali.

Mamy Soumaré ^a, Michel Vaksmann ^b, Didier Bazile ^c,
Mamoutou Kouressy ^a Cheick Hamala Diakité ^a

^a Institut d'Economie Rurale, LaboSEP, Sotuba, BP 262 Bamako, Mali, msoumare@ier.ml; chdiakite@ier.ml et mkouressy@ier.ml

^b CIRAD, BP 1813 Bamako, Mali, michel.vaksmann@cirad.fr

^c CIRAD, UPR 47 "GREEN", F-34398 Montpellier. didier.bazile@cirad.fr

Résumé

La vulgarisation des variétés créées par la recherche a connu peu de succès parce qu'elles étaient inadaptées aux conditions de culture des paysans. Cet échec de la recherche s'explique en partie par la faible prise en compte des contraintes climatiques de la zone et des méthodes employées par les agriculteurs pour en tenir compte : choix des dates de semis, travail du sol, choix de variété. Le présent article s'inspire d'une démarche de sélection en partenariat entre chercheurs et paysans fondée sur de nouvelles approches: prospections des variétés, diagnostics participatifs, sélection participative et décentralisée. Il présente une démarche de zonage variétal basé sur les caractéristiques des variétés locales et les contraintes des systèmes de culture localisés. Le couplage de deux modèles (bilan hydrique et développement des sorghos photopériodiques) au sein d'un système d'information géographique permet de délimiter pour chaque variété sa zone optimale d'adaptation. Les cartes obtenues sont des outils de synthèse utiles pour les agronomes qui désirent déterminer une zone possible de diffusion d'une variété et la définition d'un idéotype pour les sélectionneurs.

Mots clés : Agro climatologie, Sorgho, Mali, Modélisation, Photopériodisme

Abstract

The dissemination of the new varieties created breeders knew few successes because they were not adapted to the conditions of culture of the farmers. The failure of created varieties diffusion is explained partly by the weak taking into account of the climatic constraints of the region and the methods employed by the farmers to hold account of it: choice of sowing dates, ground work, variety choice etc. The present paper takes as a starting point a step of partnership breeding between scientists and farmers based on new approaches: prospecting of the varieties, participative diagnosis, participative and decentralized breeding. It presents a step of varieties zoning based on the characteristics of the local cultivars and the constraints of the localised farming systems. The coupling of two models (Soil Balance Water and photoperiodic Sorghums development) within a Geographical Information System allows delimiting for each variety its optimal zone of adaptation. The obtained maps are useful tools for synthesis for the agronomists who wish to determine a possible zone of diffusion of a variety and the definition for ideal type of variety or the breeders.

Keywords: Climatic constraints, Photoperiodic Sorghums, Mali, Modelling

I Contexte de la sélection variétale des céréales.

1.1. La sécheresse.

Au Mali comme dans toute la zone soudano-sahélienne, l'agriculture s'exerce dans des conditions climatiques aléatoires avec des risques importants de sécheresse (1972-1973, 1983-1984). La production agricole malienne subit en conséquence des fluctuations importantes liées à la répartition des pluies. C'est pourquoi au cours des 20 dernières années, sans sécheresse très prononcée, la production agricole a varié du simple au double entre la plus mauvaise campagne et la meilleure. Cette variabilité interannuelle est l'un des principaux facteurs de vulnérabilité et constitue un frein aux logiques d'intensification (CILSS, 2002) et de sécurité alimentaire. Sur les quatre dernières décennies, l'évolution du climat est marquée par la diminution des quantités de pluies entre la période 1950-1979 considérée comme humide et la période 1980-2000 considérée comme sèche (Traoré et al., 2000). On a assisté à un déplacement des isohyètes sur 200 km vers le sud. Les sécheresses des années 1970 et 1980 et la supposée baisse de la pluviométrie ont servi de base aux logiques de sélection variétale.

1.2. Caractéristique des systèmes de production : stratégies d'adaptation à la sécheresse.

La décision des agriculteurs est basée sur une appréhension des risques climatiques d'une part et économiques d'autre part avec la variation des prix sur les marchés.

Pour les paysans maliens, la minimisation des risques l'emporte sur la valorisation maximale des ressources. Cette stratégie paysanne vise d'abord la sécurité alimentaire c'est pourquoi la priorité est de disposer d'une production suffisante de céréales. Le choix du système de culture est fonction de la productivité de la (des) culture (s), de l'adaptation au climat et au sol, de la souplesse du calendrier cultural, de la facilité de transformation post récolte et des conditions du marché.

Ainsi, il ressort parfois que pour assurer cette sécurité de production, les agriculteurs consomment les céréales qu'ils ont produit à un prix de revient supérieur au prix du marché (Snrech, 1997). Pour s'assurer d'une récolte suffisante ils sèment sur une superficie plus grande. Pour se prémunir de l'incertitude climatique, ils effectuent des associations de culture sur une même parcelle, font des combinaisons de cultures et de variétés sur les différentes parties de leur parcellaire avec des conditions de sol différentes. A cause du caractère erratique des pluies en début de saison, les agriculteurs maliens procèdent à un étalement des semis sur 60 jours en moyenne. Le photopériodisme des variétés locales de dorgho permet alors une floraison groupée permettant à aux variétés de boucler leur cycle quelle que soit la date de semis et de limiter les concentrations de ravageurs des cultures sur une parcelle en particulier. L'échelonnement des semis va de paire avec l'utilisation d'une palette de variétés photopériodiques et rustiques. Celles-ci nécessitent des modes de conduite des cultures spécifiques qui leur permettent de s'adapter à différents terroirs.

1.3. Entre gestion du risque et intensification

En milieu soudano-sahélien, pour une grande majorité des paysans, l'objectif n'est pas de maximiser l'espérance mathématique du rendement à n'importe quel coût en argent et en travail mais de garantir à moindre frais un niveau de production suffisant et relativement stable, quelles que soient les conditions agro-écologiques (Bazile et al., 2003; Dufumier,

1994; Ouattara, 1998; Snrech, 1997). Le paysan cherche à concilier au sein de son système de culture des variétés à la fois performantes et rustiques.

Au cours des quatre dernières décennies, dans les zones cotonnières du Mali, sous l'impulsion de la culture du coton, l'agriculture a connu une forte mutation. Les surfaces cultivées, les productions et les rendements se sont accrus et les systèmes de cultures ont profondément évolué. Les éléments clés de cette révolution agricole ont été : la charrue (tirée par une paire de boeufs), la charrette, les engrais, la matière organiques et la maîtrise des ravageurs des cultures et des mauvaises herbes avec l'emploi d'herbicides et de pesticides. Le pourcentage des exploitations agricoles équipées pour la culture attelée est passé de 10 à 80% en 30 ans, et le nombre de bœufs de labour est passé de 100 000 à 600 000 entre 1975 et 2000. Cela a permis un accroissement continu des superficies cultivées avec une moyenne de 6% par an jusqu'aux années 1990 pour ensuite se stabiliser autour de 2% vers la fin de la décennie. La culture du coton a modifié l'ensemble de la dynamique agricole du Mali-Sud puisqu'en moyenne aujourd'hui entre 11 et 23 % des surfaces sont cultivées suivant les régions mais ce chiffre atteint 80% dans certains villages du vieux bassin cotonnier (Gigou et al., 2003). L'ancien système d'abattis-brûlis alternant des phases de culture et de jachère a progressivement laissé la place à un nouveau système dans lequel les champs sont cultivés de façon permanente sans retour de la friche.

L'intensification des systèmes de cultures a amené les agriculteurs à orienter leurs objectifs vers la culture du maïs au détriment des céréales traditionnelles (mils et sorghos). L'avantage du maïs par rapport au sorgho tient en premier lieu à sa bonne valorisation des intrants. Le maïs permet dans de bonnes conditions de cultures (hydriques et minérales), une productivité du travail plus élevée. La part du maïs dans la production nationale de céréales est passée de moins de 12% en 1980 à 28% en 2000 (FAO, 2004). La production de maïs qui était d'environ 70 000 tonnes en 1961 est passée à 300 000 tonnes en 2001 soit une augmentation de 330% contre 34% pour le sorgho dont la production n'est passée que de 385 000 tonnes à 520 000 tonnes.

1.4. Les objectifs de sélection

Les sorghos africains sont généralement de grandes tailles et leurs performances sont faibles en raison de leur indice de récolte particulièrement bas (rapport de la production de grain et de la biomasse aérienne). A partir des années 60, les travaux d'amélioration du sorgho se sont partagés en deux démarches. La première consistait à améliorer le matériel local. Cette démarche a débouché sur une amélioration de la productivité des sorghos dans les systèmes traditionnels. Le matériel obtenu est bien adapté à l'environnement et respecte la diversité génétique. Toutefois, les variétés produites valorisent mal l'intensification des techniques car la morphologie des plantes est restée très similaire à celle des parents locaux.

La réussite des programmes de sélection des céréales durant la seconde partie du XXème siècle est largement due à la réduction de taille des céréales (Araus et al., 2002; Richards, 2000). La seconde démarche d'amélioration du sorgho a donc cherché à modifier la structure des sorghos pour les rendre plus productifs en s'inspirant des idéotypes de la révolution verte. (Matlon, 1985).

Simultanément, en raison des sécheresses des années 70, les sélectionneurs se sont orientés vers la création de variété à cycle court. L'objectif était de mettre au point des variétés qui répondaient à l'intensification tout en résistant à la sécheresse. Les nouvelles variétés précoces devaient être adaptées à des durées de saison des pluies plus courtes.

1.5. Des variétés à haut potentiel de rendement non adoptées par les agriculteurs.

L'introduction des variétés sélectionnées par la recherche a connu un succès mitigé. Moins de 5% des superficies emblavées en Afrique de l'Ouest sont semées avec des variétés développées par la recherche et 1 à 9% au Mali (Matlon, 1985; Traoré et al., 2000). L'élimination des caractères de rusticité est probablement la première cause de rejet d'une variété par les paysans (Moneveux & This, 1996; Traoré et al., 2000).

Avant et parallèlement à la création de variétés par la recherche, les agriculteurs conservent leurs semences de génération en génération. Ces « variétés locales » ont comme caractéristiques principales leur adaptation aux conditions écologiques localisées et le calage de leur cycle avec le microclimat de leur zone géographique d'origine. Le sorgho est cultivé du sud du Mali jusqu'à la fin de la bande sahélienne sous environ 500 mm de pluviométrie annuelle. Dans la zone nord du pays où la pluviométrie est faible et assez irrégulière, les agriculteurs ont gardé de multiples races locales qui s'adaptent bien aux variabilités climatiques interannuelles et à la grande diversité des situations de culture (Kouressy, 2002). Dans la zone cotonnière plus au sud (800-1000 mm), les sorghos sont étroitement adaptés à leur zone d'origine et groupent leur floraison à la fin de la saison des pluies (Vaksmann et al., 1996).

Pour atteindre leurs objectifs, les programmes de sélection ont éliminé les caractères de rusticité des variétés traditionnelles et notamment le photopériodisme, caractère essentiel des sorghos africains. Les sorghos sont des plantes de « jours courts », la floraison n'est possible que si la durée du jour descend en dessous d'un seuil spécifique à chaque variété. Le cycle de la plante se raccourcit lorsque le semis est réalisé tardivement. Il en résulte une floraison groupée à la fin de la saison des pluies qui minimise les dégâts d'oiseaux et de moisissures en cas de floraison trop précoce ou le stress hydrique en cas de floraison tardive. Ce caractère permet l'ajustement du cycle à la durée probable de la saison des pluies et donne aux agriculteurs une grande souplesse en matière de choix de la date de semis. Il permet, notamment, les semis précoces qui rendent la plante plus compétitive par rapport aux adventices.

1.6. Recherche de variété en partenariat

La conséquence directe du développement du maïs est la marginalisation des céréales traditionnelles sur les sols les plus pauvres. Il en résulte une érosion génétique importante. Dans le sud de la zone cotonnière, jusqu'à 60 % des écotypes de mils et sorghos ont disparus au cours des 20 dernières années (Kouressy, 2002).

Pour les pays en voie de développement, comme le Mali, toute stratégie de gestion des ressources génétiques doit être liée aux impératifs du développement. Pour enrayer l'érosion génétique des céréales locales, le défi à relever consistait donc à remonter leur productivité pour en faire une alternative plausible dans un système de culture intensifié. C'est dans ce contexte de menace sur la biodiversité des sorghos du Mali qu'un programme de sélection participative a été initié. Il s'agissait, à partir des variétés locales du Mali, de mettre au point des variétés de sorghos adaptées à l'environnement biophysique et répondant aux objectifs des paysans de la zone cotonnière du Mali. Le projet de recherche regroupe d'une part les chercheurs de disciplines diverses (sélection, agroclimatologie, agronomie, écologie, géographie et économie) et d'autre part le monde du développement constitué d'organisations des producteurs, des Organisations Non Gouvernementales et des paysans sélectionneurs. La démarche s'articule autour des prospections de variétés cultivées par les paysans, des diagnostics participatifs et de la sélection participative et décentralisée.

En 1978, une première prospection a eu lieu dans 280 villages sous l'égide de l'ORSTOM (Institut de Recherche pour le Développement). Elle a permis d'identifier 800 écotypes. En 1999 et 2001, deux prospections de l'IER (Institut d'Economie Rurale) ont été réalisées pour

évaluer la dynamique des variétés depuis 1978 (Kouressy et al., 2003). L'étude des collections permet de faire l'inventaire des ressources phytogénétiques disponibles aujourd'hui et de caractériser les accessions sur le plan agromorphologique. Parallèlement, des enquêtes dans des villages ont permis d'identifier les contraintes et les objectifs des agriculteurs, d'étudier leur gestion du calendrier agricole avec les critères de déclenchement du semis et l'ordre d'implantation des différentes cultures/variétés.

La méthodologie de sélection proposée combine des méthodes de sélection récurrente et de sélection participative et décentralisée directement dans le milieu cible. Elle est fondée sur une utilisation intensive des écotypes locaux les plus menacés de disparition. L'introduction des principales qualités des variétés productives a été réalisée dans des populations à large base génétique locale.

1.7. Contradiction entre les objectifs et les pratiques : les difficultés du dialogue entre chercheur et paysans.

Dans une approche de recherche en partenariat, le paysan apporte sa technicité, ses préférences, ses traditions mais aussi ses croyances et ses préjugés. Il est associé à la détermination des objectifs de sélection à travers des enquêtes et des diagnostics. Il intervient aussi par ses pratiques (travail du sol, choix des densités et dates de semis, gestion de la fertilité). Enfin, en donnant son avis, il oriente les choix en cours de sélection et, en dernier ressort, il intervient dans le choix des variétés finalisées.

Les paysans maliens, selon leurs dires, préfèrent des variétés « *précoces* » c'est-à-dire sensu stricto celles qui ont une « *durée de cycle inférieure à la longueur de la saison des pluies* » de leur région. Dans la pratique, les variétés les plus semées sont toutes photopériodiques et le taux de photopériodisme varie en fonction de la durée de la saison des pluies de la zone. Les cycles de ces variétés sont plus ou moins longs en fonction de la date de semis mais ils restent toujours adaptés aux conditions climatiques de la région. C'est pourquoi on peut traduire dans le discours des paysans le terme « *précoce* » par « *adapté* ».

Cette difficulté de traduire les « vœux » des paysans en objectifs de sélection concrets a provoqué le développement de variétés inadaptées et les causes de leur faible diffusion étaient peu comprises. La notion de précocité est relative aux cycles des variétés locales de la zone concernée. Comme la recherche de la précocité a été l'objectif prioritaire de la plupart des programmes d'amélioration du sorgho, les paysans ont l'embarras du choix entre de nombreuses variétés précoces et productives. Pourtant, en 20 ans, les changements observés sur la durée du cycle des variétés ont été mineurs (Kouressy, 2002). Malgré leur préférence affichée pour les variétés précoces les paysans cultivent toujours majoritairement leurs variétés traditionnelles tardives.

Les paysans peuvent difficilement expliquer leur Savoir illustré par leurs variétés qui sont le fruit d'une sélection massale ancestrale. Si les agronomes, physiologistes ou sélectionneurs arrivent à comprendre les déterminants des pratiques, il leur devient possible de relier le problème à des caractères génétiques simples.

A ce titre, l'approche d'identification de zones d'adaptations spécifiques au lieu de la recherche de variétés universelles à large adaptation s'inspire des pratiques observées chez les paysans. Elle se base sur les systèmes de culture (dont la conduite est basée sur les contraintes climatiques) et les caractéristiques des variétés locales. La modélisation permet d'évaluer le comportement des variétés en fonction de l'environnement dans le temps (stabilité) et dans l'espace (adaptabilité). Il devient alors possible de déterminer des idéotypes spécifiquement adaptés aux diverses situations et les zones et conditions optimales de culture des différents cultivars.

II Méthodologie

2.1. La caractérisation de la saison des pluies

La caractérisation de la saison des pluies est réalisée à l'aide du modèle de bilan hydrique BIPODE (Forest, 1988; Ouattara et al., 1998). Ce modèle calcule l'évolution du stock d'eau dans le sol avec un pas de temps journalier selon la formule

$$S_{j+1} = S_j + P_{j+1} - D_{j+1} - R_{j+1} - ETR_{j+1} \text{ avec :}$$

S_{j+1} le stock au jour $j+1$; S_j le stock au jour j ; P_{j+1} la pluviométrie au jour $j+1$; R_{j+1} le ruissellement au jour $J+1$ ETR_{j+1} l'évapotranspiration réelle et D_{j+1} le drainage au jour j

La saison est caractérisée à partir de trois éléments essentiels: la date de début, la date de fin et la durée de la saison sur 70 postes pluviométriques couvrant tout le Mali.

La date de début de saison (DDS) : c'est le moment à partir du 1er mai où le stock hydrique dépasse 30 mm sans descendre en dessous de 20 mm dans les 20 jours qui suivent.

La date de fin de saison (DFS) : C'est la date à partir de laquelle les précipitations ne compensent plus l'évapotranspiration. Cette date correspond généralement au remplissage du grain des sorghos qui se fait en grande partie sur le stock d'eau résiduel dans le sol (Andrews, 1973).

La durée de la saison culturale (DSC) : c'est le nombre de jours entre les dates de début et de fin telles que définies ci-dessus.

2.2. La caractérisation du matériel végétal

Les variétés étudiées sont CSM63, CSM 219, CSM 388 et Gagna Ounlé. Ce sont des variétés locales qui proviennent de prospections réalisées au Mali en 1978 et en 1996. Elles sont représentatives des différentes écologies de la zone d'agriculture pluviale du pays du nord au sud. Elles sont de type botanique *guineense* le plus fréquent au Mali. Les variétés ont été caractérisées à la station agronomique de Sotuba (7.9° Est et 12.7° Nord). En période de semis normal (de mai à juillet). Il existe, pour les sorghos photopériodiques, une relation linéaire entre la durée de la période végétative et la date de semis (Traoré et al., 2000). La pente de la droite ainsi définie et mesure le raccourcissement de la durée du cycle par jour de retard de semis qui exprime le degré de photopériodisme d'un cultivar. L'équation de la droite permet de prévoir le développement de la variété et d'en déterminer la date de floraison à partir de la date de semis. Des essais comportant plusieurs dates de semis ont permis d'établir cette relation pour les 4 variétés étudiées.

2.3. La mesure de l'adaptation.

On considère généralement que les variétés adaptées épient en moyenne 20 jours avant la fin de la saison des pluies (Kouressy, 2002; Ouattara et al., 1998). On peut ainsi déterminer un indice (I) d'adaptation défini par l'écart entre la date de fin de saison (DFS) et la date de floraison (DF):

$$I = DFS - DF$$

L'indice prend la valeur nulle si la variété épie à la fin de saison. L'indice optimal est égal 10. Si l'indice est inférieur à 0, la variété est trop tardive et, réciproquement, un indice supérieur à 20 caractérise une variété trop précoce. Dans la suite de ce travail, on considère qu'une variété est adaptée à une zone lorsque l'indice I est compris entre 0 et 20 (Fig.1).

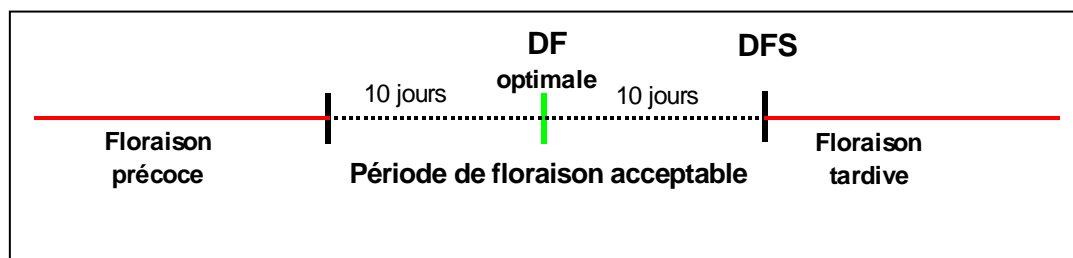


Fig.1 Estimation de l'indice d'adaptation: DF = Date de floraison, DFS=date de fin de saison.

2.4. La Délimitation des zones d'adaptation

Pour chaque site pluviométrique, l'indice d'adaptation (I) de chacune des 4 variété est calculé pour toutes les années de la période 1969-1998 à l'aide du modèle de bilan hydrique et du modèle de développement des sorghos photopériodiques. Un indice moyen est ensuite calculé pour chaque site géoréférencé puis extrapolé spatialement par la méthode de "Krigage" à la région agricole pluviale du Mali. Les cartes obtenues sont intégrées dans un système d'information géographique pour visualiser les zones d'adaptation des variétés et les mettre en relation avec les systèmes de cultures des régions correspondantes.

III Résultats

3.1. La saison des pluies: date de début, date de fin, durée.

La structure de la saison est marquée par une forte variabilité spatiale et interannuelle. Celle-ci n'a pas la même variabilité dans le temps et dans l'espace. L'installation de la saison se fait progressivement du sud vers le nord du 20 mai au 10 juillet en moyenne (fig.2). Par contre la fin de la saison descend du nord vers le sud en moyenne du 05 septembre au 06 octobre (fig.3) en moyenne. La date de début est plus variable que la date de fin. La durée suit un gradient régressif du sud vers le nord allant de 140 à 60 jours. Plus on se déplace vers le nord, plus la durée de la saison est courte.

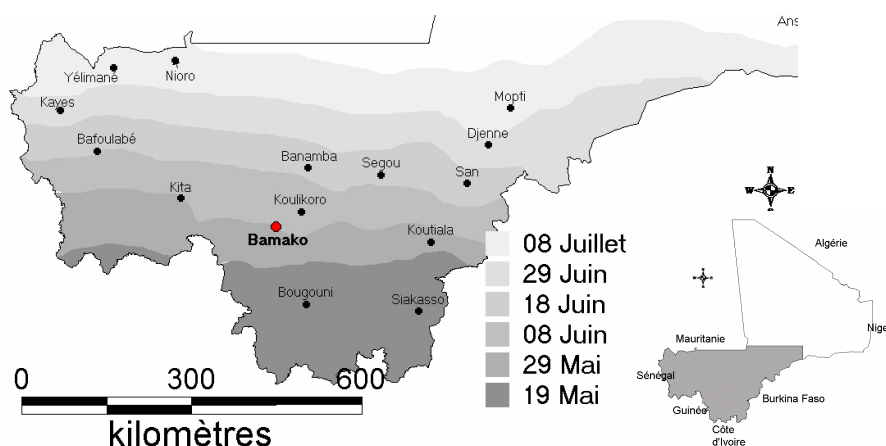


Fig.2: Date de début moyenne de la saison des pluies au Mali de 1969 à 1998

La pluviométrie totale suit le même mouvement que la durée de la saison de 1400 mm au sud à 400 mm au nord. La rapidité et la relative stabilité de la date de fin est liée au mouvement du Front Intertropicale (FIT) dont la descente est toujours plus rapide que la montée. Le FIT exprime la position des courants d'air humide allant de l'océan vers les terres.

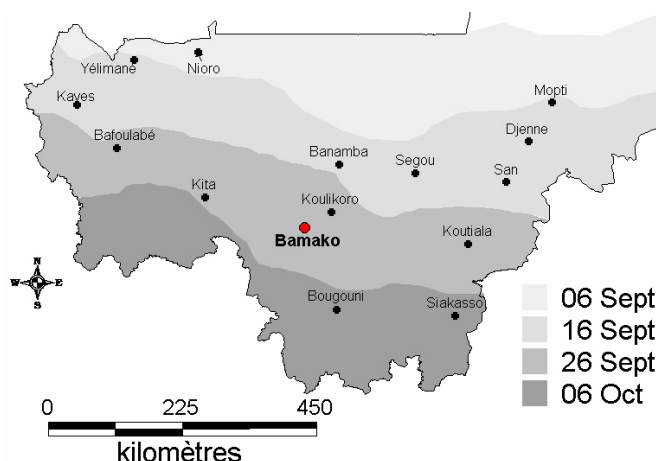


Fig.3: Date de fin de la saison des pluies.

3.2. Les variétés

Les cultivars étudiés sont tous photopériodiques. En période de semis normal (de mai à juillet), il existe une relation linéaire entre la durée de la période végétative et la date de semis. La pente de la droite issue de cette relation exprime le taux de photopériodisme du cultivar en question. Par exemple une pente de 0.5 signifie qu'un retard de semis de 10 jours entraîne un raccourcissement de la période végétative de 5 jours. Une variété non photopériodique aura donc un coefficient égal à 0 et une variété photopériodique stricte aura un coefficient égal à 1.

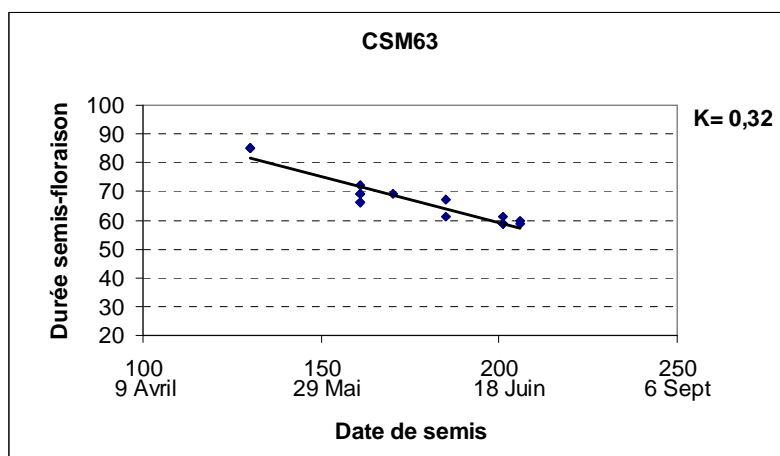


Fig.4: variation de la durée semis-floraison en fonction de la date de semis de la variété CSM63 à Sotuba

Pour la variété CMS63, la durée du cycle de la période semis-floraison varie de 60 à 85 à Sotuba jours en fonction des dates de semis (fig.4) du 100^{ème} au 250^{ème} jour julien. Le taux de photopériodisme exprimé par le coefficient de corrélation $K = 0.32$ signifie qu'un retard de semis de 10 jours de CSM63 entraîne un raccourcissement du cycle seulement de 3 jours. Donc tout retard de date de semis se traduit par un faible raccourcissement de la longueur du cycle. CMS63 est une variété faiblement photopériodique. Pour une variété moyennement ou très photopériodique, ce raccourcissement serait de l'ordre de 6 à 10 jours.

Le taux de photopériodisme des variétés étudiées varie de 0.75 à 0.3 (tab.1) selon l'axe nord-sud. On note une augmentation de la durée semis-floraison pour les variétés en se déplaçant vers le nord de 126 jours pour Gagnan Ounle à 63 jours pour CMS63. Plus le cycle est court moins la variété est photopériodique.

Tableau 1. Répartition des variétés selon le taux de photopériodisme et la durée moyenne de la période semis-floraison sur les sites d'adaptation.

Variété	Taux de photopériodisme	Durée moyenne de la période semis-floraison en jours
CSM63	0.32	63
CSM219	0.68	90
CSM388	0.75	111
Gagna Ounle	0.73	126

3.3. Les zones d'adaptation.

La variété CSM63 est considérée comme une variété très précoce au Mali. Elle paraît théoriquement adaptée aux régions dont la longueur de la saison est supérieure ou égale à la longueur du cycle (63 jours).

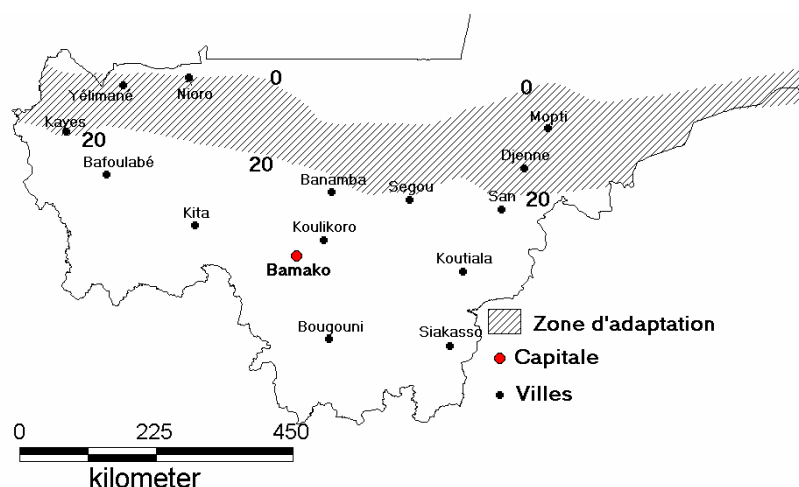


Fig.5: Zone d'adaptation optimale de la variété CSM63. Il s'agit de la zone pour laquelle la floraison a lieu en moyenne dans les 20 jours qui précèdent la fin de la saison des pluies.

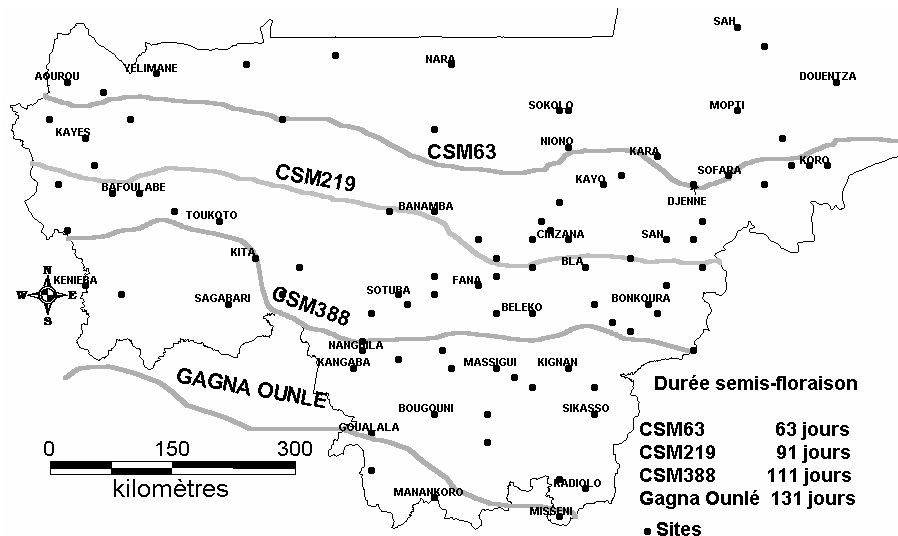


Fig.6: Point de passage de l'indice d'adaptation optimal des quatre variétés. L'indice (I) est égal à 10, ce qui correspond à l'optimum

La durée semis-floraison de CSM63 sur les sites auxquels elle est adaptée varie de 60 jours à 66 jours à avec une durée moyenne de 63 jours. CSM63 est une variété peu photopériodique ($k=0.3$). Vu sa faible sensibilité à la photopériode, elle offre peu de souplesse pour le choix de la date de semis. Son aire d'adaptation est située la plus au nord en zone sahélienne avec une pluviométrie inférieure à 700 mm (fig.5), ce qui délimite une bande d'environ 200 km. Elle s'adapte donc aux systèmes de cultures de cette région agricole principalement basés sur les mils et sorghos.

Selon la logique de recherche de variétés à cycle court, CSM63 devrait s'adapter à des régions dont la durée de la saison des pluies est supérieure ou égale à 63 jours, donc pouvoir être diffusée dans tout le pays. Mais, en dehors de sa zone d'adaptation (fig. :5), les chances de réussite de CSM63 sont nulles. Son cycle est trop court pour s'adapter à une saison des pluies plus longue. Le semis en début de saison se traduit par une floraison trop précoce qui compromet sérieusement les chances de récoltes. Le semis tardif pour caler son cycle sur la durée de la saison n'est pas envisageable. Il donne des rendements faibles pour de nombreuses raisons : concurrence avec les adventives, acidification du sol après le début des pluies, lessivage de l'azote, excès d'humidité etc.

Conformément aux caractéristiques de la saison des pluies, les zones d'adaptation des quatre variétés suivent une distribution du sud vers le nord en fonction de la longueur du cycle semis-floraison (tab.1) et (fig.6). Les variétés CSM219, CSM388 et Gagna Ounlé sont adaptées aux zones soudanienne et pré-guinéenne sur les régions du Mali-Sud, du Centre et de l'Ouest (fig.6). Le caractère photopériodique ($k>0.7$) de ces variétés permet leur adaptation à la structure de la saison mais aussi aux contraintes de calendrier des systèmes de culture. Dans les régions sud, la variété photopériodique offre une grande souplesse dans le choix de la date de semis.

Le sorgho occupe une faible place dans l'assolement dans ces régions. Il est associé au maïs et au coton qui sont les cultures prioritaires pour les paysans. Il n'est semé qu'après les cultures

intensifiées (coton et maïs) et sur des terres souvent marginales. La souplesse de la date de semis contribue beaucoup au maintien et au développement de la culture du sorgho dans les régions sud. Par exemple la saison de croissance 2004 a connu un début très difficile suite à l'installation tardive des pluies. Après plusieurs semis, les parcelles de maïs et de coton ont mal germé. Sur les parcelles qui ont échoué, le paysan a pu les remplacer par le sorgho (Soumaré, 2004).

Aucune variété n'a une large adaptation géographique qui justifierait sa diffusion à tout le pays. Chaque variété est adaptée en moyenne sur une bande de 200 km de largeur du nord au sud. Ce résultat explique bien l'échec de la diffusion des variétés modernes à cycles fixes créées par les programmes de sélection.

IV Conclusion

Chez les sorghos photopériodiques, les interactions « géotype X environnement » sont importantes et ne permettent pas de prévoir simplement le devenir d'une variété soumise aux contraintes environnementales du climat soudano sahélien. Face à la difficulté de prendre en compte à la fois un matériel végétal et un environnement particulièrement variable, les agronomes ont été amenés à raisonner sur des cultivars de durée de cycle fixe adaptés à une saison des pluies moyenne qui n'existe pas en réalité. Cette démarche a montré ses limites, les variétés modernes ne s'adaptent pas aux contraintes climatiques et malgré leur potentiel élevé, leur productivité en milieu paysan reste faible. Après 50 ans d'amélioration variétale, les variétés locales photopériodiques produisent autant, sinon plus, que les variétés précoces de la recherche dans les mêmes conditions de culture (Luce, 1994). Les variétés précoces, qui avaient pour les chercheurs une large adaptation géographique, sont généralement confinées à la zone sahélienne (pluviométrie 600 mm) et sont incapables de réussir plus au sud en zone humide avec une saison des pluies plus longue.

Le couplage d'un modèle de bilan hydrique et d'un modèle simplifié de développement des sorghos photopériodiques au sein d'un système d'information géographique permet de faciliter la compréhension de mécanismes complexes et de délimiter pour chaque variété les zones optimales d'adaptation. Conformément aux caractéristiques de la saison des pluies, les variétés suivent une distribution du sud vers le nord en fonction de leur degré de photopériodisme. Chaque variété dispose d'une zone relativement étroite d'adaptation, en moyenne sur une bande de 200km de largeur du nord au sud, et il est rare de les trouver en dehors.

Les cartes obtenues représentent un outil de synthèse utile pour les agronomes qui désirent déterminer la zone possible de diffusion d'une variété en tenant compte de ses chances de réussite. Ils permettent d'extrapoler spatialement des résultats obtenus à la parcelle qui sont par ailleurs limités dans le temps.

Ce résultat permet aussi aux sélectionneurs d'améliorer leur définition de l'idéotype adapté et de substituer à la notion de large adaptation géographique la recherche des niches écologiques spécifiques à chaque variété. Lors d'un choix stratégique de création variétale, le véritable défi consiste à trouver, pour un site donné, des variétés productives mais surtout adaptées à la variabilité temporelle du climat.

V Bibliographie

- ADREWS D.J., 1973, Effects of date of sowing on photosensitive Nigerian Sorghums: *Exp. Agric.*, v. 9.
- ARAUS J.L., SLAFER G.A., REYNOLDS M.P., ROYO, C., 2002, Plant Breeding and Drought in C3 Cereals: What Should We Breed For? *Annals of Botanique*, v. 89, p. 925-940.
- BAZILE D. et SOUMARE M., 2004. Pratiques paysannes de gestion de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique. Le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali. *Étude Originale. Cahiers Agricultures*, 13(6): 480-487.
- BAZILE D., SOUMARE M., DEMBELE D. et DIAKITE C H., 2003. Stratégies paysannes de valorisation de la biodiversité du Sorgho: le cas du Mali, in DUGUE P; JOUVE P (dir) *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Actes du colloque international, 25-27 février 2003. Umr Sagert, CIRAD-CNEARC-ENGREF, Montpellier, pp. 635-650.
- CHANTEREAU J., 1985. Développement des variétés en Afrique de l'ouest. In H.W. OHM et J.G. NAGY (Eds), *Technologies appropriées pour les paysans des zones semi arides de l'Afrique de l'ouest*. Actes de la conférence internationale, Université de Purdue, Inde
- CILSS, 2002. Cadre stratégique de sécurité alimentaire durable dans une perspective de lutte contre la pauvreté au Sahel Tome II Document principal, pp. 31-37.
- DUFUMIER M., 1994. Conditions à promouvoir pour la viabilité des systèmes de production agricole en Afrique soudano sahélienne. in: BENOIT-CATTIN M., et CARLOS DE GRANDI J., (dir), *Promotion de Systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano sahélienne*, pp. 249-267.
- FAO, 2004. www.fao.org.
- FOREST F., 1988. Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP IRAT/CIRAD. Série DEVE, 17: 61 pages.
- GIGOU J., et al., 2003. Le passage de la culture itinérante à la culture permanente révélé par l'âge des champs au Mali-Sud., in DUGUE P. et JOUVE P. (dir) *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Actes du colloque international, 25-27 février 2003. Umr Sagert, CIRAD-CNEARC-ENGREF, Montpellier, pp. 103-112.
- KOURESY M., 2002. Etude de la durée du cycle des sorghos du Mali. Comparaison avec la durée de la saison des pluies Evolution sur les 20 dernières années, Mémoire de DEA, Université du Mali, Bamako, 45 pp.
- KOURESSY, M., et al., 2003. La dynamique des agrosystèmes un facteur explicatif de l'érosion variétale du sorgho: le cas de la zone Mali-Sud, in DUGUE P. et JOUVE P. (dir) *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Actes du colloque international, 25-27 février 2003. Umr Sagert, Cirad, Cnearc, Engref, Montpellier, pp. 9.
- LUCE C., 1994. Influence des conditions de production de semences de sorgho sur la levée au champ. *Agriculture et développement rural* (1), pp. 43-46.
- MATLON J.P., 1983. *The technical potential increased food production in the West Aafrikan semi-arid tropics*. ICRISAT, Victoria Fols Zimbawé.

- MATLON J.P., 1985. Analyse critique des méthodes, objectifs et progrès accomplis à ce jour dans l'amélioration du mil et du sorgho: étude de cas Burkina Faso. In H.W. OHM et J.G. NAGY (Eds), *Technologies appropriées pour les paysans des zones semi arides de l'Afrique de l'ouest*. Actes de la conférence internationale, Université de Purdue, Inde.
- MONEVOEUX P. et THIS D., 1996. Amélioration génétique et tolérance des plantes à la sécheresse: espoir et difficulté. *Sécheresse*, 8(1).
- RICHARDS R.A., 2000, Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain: *J. Exp. Bot.*, v. 51, p. 447-458.
- OUATTARA M., 1998. Savoirs paysans et prise en compte des risques climatiques dans la production du sorgho, choix variétal et calage des cycles de culture. Cas de la zone de Loulouni, Université du Mali, Bamako, 40 pp.
- OUATTARA M., VAKSMANN M., REYNIERS, F-N., KOURESSY M. et NIANGANDO O., 1998. Variabilité phénologiques des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agro-écosystèmes. in: REYNIERS F-N. et ABCCI L., (dir), *Le futur des céréales photopériodiques en Afrique Tropicale semi-aride*, pp. 123-137.
- SNRECH S., 1997. Transformations structurelles de l'agriculture des savanes et du Sahel Ouest africain. *Sécheresse*, 8(3): pp.189-199.
- SOUMARE M., 2004. Contribution à la prévision de l'aire de diffusion de variétés de sorgho au Mali. Couplage entre modèle de croissance des cultures et Systèmes d'Information Géographique. Mémoire de DEA, Université Paris 10, INA-PG, Paris, 93 pp.
- TRAORE S.B., VAKSMANN M., OUATTARA M., KOURSSY M. ET YOROTE, A., 2000. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sécheresse, *Sécheresse*, 11(4), pp. 227-237
- VAKSMANN M., TRAORE S.B., NIANGANDO O., 1996, Le photopériodisme des sorghos africains: *Agriculture et Développement*, v. 9, p. 13-18.
- VAKSMANN M., KOURESSY M., TOURE A. et Coulibaly M., 2005. Valorisation de la diversité génétique des sorghos en zone cotonnière du Mali Sélection décentralisée et participative. in: LANCON J., HOCDE H. et FLOQUET A., (dir), *Gestion du partenariat dans les projets de sélection participative.*, Cotonou, Bénin, 10 pages.